

西双版纳热带雨林和橡胶林土壤斥水性比较

李金涛^{1,2}, 刘文杰¹, 卢洪健^{1,2}

(1. 中国科学院 西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 利用 2008 年 8 月至 2009 年 7 月采集于西双版纳热带雨林和人工橡胶林 2 种代表群落中 82 个土样, 通过测定其潜在和实际斥水性, 比较了 2 种林型土壤斥水性在不同温度和季节间的变化, 并探讨了土壤斥水性与环境因子间的关系. 结果表明: ① 2 种林型下土壤大部分表现出较弱的斥水性, 且橡胶林下土壤实际斥水性明显高于热带雨林, 而土壤潜在斥水性则橡胶林显著低于热带雨林; ② 温度可以明显降低土壤斥水性强度, 但两种林型间温度对土壤斥水性的影响无明显差别; ③ 在干季, 热带雨林和橡胶林下土壤斥水性无差异, 在雨季则橡胶林显著高于热带雨林. 相关性分析表明: 土壤斥水性与土壤有机质含量无明显相关性 ($R^2 = 0.33$), 而与土壤含水量呈显著正相关 ($R^2 = 0.64$); 土壤质地对土壤实际斥水性有显著影响. 研究表明土壤含水量和土壤质地是影响西双版纳地区土壤斥水性的主要因素, 因此在恢复地表植被存在困难的前提下, 解决西双版纳地区水土流失问题的关键是如何控制土壤含水量以及改善土壤质地条件.

关键词: 土壤斥水性; 土壤含水量; 土壤有机质含量; 土壤质地; 水土流失; 西双版纳

中图分类号: Q 948.113 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7971(2010)S1-0391-08

土壤斥水性是指水分不能或者很难湿润土壤颗粒表面的物理现象, 具有斥水性的土壤称为斥水性土壤^[1]. 土壤斥水性是土壤一种内在物理特性, 它的产生与土壤质地、土壤含水量、土壤中细菌真菌种类以及土壤有机物的分解物含量(多糖、腐殖质、脂类物质和蜡质)等相关^[2-4, 31]. 土壤斥水性增加了降雨地表的滞留时间和地表径流量, 加大了土壤受侵蚀的风险^[5-6]; 并促成土壤优先流和指状流的形成, 造成土壤水分空间不均匀性分布, 影响土壤动植物的生存^[5, 7-8].

土壤斥水性研究兴起于 19 世纪的西方, 尤以美国和澳大利亚的研究相对较多. 一般来说, 土壤斥水性在沙质土壤、森林土壤以及受火干扰土壤中较为常见, 且土壤斥水强度往往因地表植被的不同而表现出较大差异. Jordán 等人在地中海气候带不同灌木种下研究土壤斥水性特征时发现: 虽绝大部分土壤具有斥水性, 但在松林、栓皮栎、桉树下的土壤具有更宽的斥水性等级^[9]. Dekker 等研究发现

生长在灰发草下的土壤斥水层厚度明显小于松类、石楠类植被下土壤, 且随着深度的增加, 斥水性递减率也逐渐增大^[10]. 许多野外实验证实, 地被植物枯落物及其根活性是土壤斥水性产生的两个最主要因素^[11].

土壤斥水性直接阻碍地表水的下渗, 加剧了地表径流的冲刷作用, 极易造成水土流失. Robichaud 对比美国北部山地森林土壤入渗率发现, 由于土壤斥水性增强和植被的破坏, 土壤入渗率因此下降了 10%~40%^[12]. Jungerius 等也在荷兰海沙丘试验中得出因土壤斥水性使土壤受侵蚀程度增加 1 倍多的结论^[13]. 从全世界范围看, 地表植被覆盖率整体下降, 且单一化发展趋势明显, 特别是发展中国家. 在土壤生态问题中因斥水性造成的地表水土流失问题引起了土壤科学家越来越多的关注, 而关于土壤斥水性的研究在国内则相当匮乏, 仅 90 年代初杨邦杰等对农业土壤中斥水性所引起的土壤退化问题进行了一些简单的探讨^[14]. 因此在国内开

* 收稿日期: 2010-03-28

基金项目: 中科院“西部之光”人才计划资助项目; 国家自然科学基金资助项目(30770368).

作者简介: 李金涛(1983-), 男, 硕士, 主要从事森林水文方面的研究. E-mail: lj@xtbg.org.cn.

通讯作者: 刘文杰, 硕士生导师, 主要从事热带森林水文方面的研究工作. E-mail: lwj@xtbg.org.cn.

展土壤斥水性研究不仅可以丰富我国土壤斥水性理论,也可以为我国日益严重的水土流失问题的解决提供参考。

西双版纳地区是我国热带原始季节雨林的集中分布区域之一,近50年来橡胶产业的发展致使大面积结构复杂的热带季节雨林被单一的橡胶林(*Hevea brasiliensis*)取代,由此带来群落生境破碎化和大面积的水土流失问题^[15-16]。橡胶产业已经成为当地主要经济支柱,压缩橡胶树的种植以降低水土流失,虽在理论上可行,但实际操作困难重重,因此如何通过研究受侵蚀土壤本身的特征来寻求解决水土流失问题的途径,成为解决当前所面临问题一条较好思路。

本论文旨在通过对比西双版纳地区热带季节雨林和人工橡胶林土壤斥水性,探讨橡胶林代替热带季节雨林后土壤斥水性的变化规律;分析土壤斥水性的变化与相关环境因子(温度、土壤含水量、土壤有机质含量)的关系;评估土壤斥水性对西双版纳地区大面积水土流失问题影响程度。

1 研究区域与研究方法

1.1 样地概况 研究样地位于西双版纳傣族自治州(21°56'N,101°15'E),海拔约580 m,属北热带季风气候,一年中有3个明显的季节划分:雾凉季(11月~次年2月)、干热季(3~4月)和雨季(5~10月)。年平均气温21.5℃,年平均降雨量为1400 mm,其中雨季降雨占全年降雨量的80%以上,相对湿度85%。地形为中、低山丘陵谷型小盆地、多溪流,地带性土壤为砖红壤和赤红壤,地带性植被为热带季节雨林和季雨林。

本实验选取西双版纳地区热带雨林生态站定位样地作为热带原始季节雨林的样地,选取中国科学院西双版纳热带植物园内人工橡胶林作为热带山地橡胶林的样地。热带原始季节雨林主要代表树种是绒毛番龙眼(*Pometia tomentosa*)、千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)。植物种类以樟科(Lauraceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、桑科(Moraceae)植物为主,群落结构复杂。热带山地橡胶林是以30年树龄三叶橡胶树(*Hevea brasiliensis*)为主的单优人工群落,采用宽窄行密株的种植方式(株距3.1 m,宽行距19 m,窄行距2.5 m),群落高20~30 m,2种植被类型样地坡度均在15~30℃之间。热带原始雨林保育良好,人为干扰较少,热带山地橡

胶林则经常受人类活动的干扰,如割胶、施肥、喷洒除草剂等。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 土壤的采集 2008年8月至2009年7月在2类代表样地中,按照随机取样原则,于每月(21~23日)采集1次土壤样品(500 g),土样采自土壤表层0~5 cm处,其中橡胶林下土样分上坡和下坡分别采集,每块样地1次采集2个样品,一个用封口袋封装,另一个用铝盒密封保存,采样完毕后,立即放入保鲜包带回实验室进行分析。

1.2.2 土壤斥水性的测定 取封口袋中土样,置通风处晾置约48 h,轻柔研碎,过孔径为0.894 mm筛,然后将处理后土样装于铝盒中用平铲抹平,与先前采集的铝盒土样一起放入烘箱(DHG9035)中,在45℃(烘干1440 min)和105℃(烘干2880 min)条件下烘干,然后分别测量土样的潜在和实际斥水性。潜在和实际斥水性的测量均采用滴水穿透时间法(WDPT: Water Drop Penetration Time):即在土壤表面用标准滴管滴5滴蒸馏水(每滴约0.05 mL),用秒表记录液滴从接触土样到从土样上消失的时间^[17]。另外,在测定过程中,液滴放置在不高于土壤表面5 mm的位置上,以避免过大的动能影响土壤和液滴的相互作用。

1.2.3 土壤入渗率的测定 应用环刀法测定土壤入渗率。即将环刀所取土样在实验室中浸水8~12 h,在环刀上面套一空环刀,用胶布和熔蜡封好,并向空环刀倒入一定量的水,自漏斗滴下第1滴水开始计时,以后每隔1,2,3,5,10,⋯,n min更换漏斗下的烧杯,并分别量出渗水量 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_5, Q_{10}, \dots, Q_n$ 。每更换一次烧杯后要将上面环刀内水面立即加至原来高度,同时记录水温,实验直至渗水量稳定后方可结束^[18]。

渗透系数 K_{ti} 应用以下公式计算

$$K_{ti} = \frac{Q_i \cdot 10}{S \cdot t_i} \cdot \frac{L}{H + L}$$

式中: S :环刀的横断面(cm^2); L :土层厚度(cm); H :水层厚度(cm); Q :渗水量(mL)。

1.2.4 土壤含水量的测定 在采样点采集土样结束后立即在采集区域随机选择15个测量点,应用土壤体积含水量测定仪(Moisture Probemeter MP-406, Australia)测定表层土壤(0~5 cm)体积含水量,求其平均值,每月1次。

1.2.5 土壤有机质含量的测定 采用马弗炉法进

行土壤有机质含量的测定. 取约 20 g 晾干研碎后的土样颗粒在箱式电阻炉(SX-4-10, 哈尔滨第二电炉厂)中 550 ℃ 高温下灼烧 5 h(LY/T 1253-1999), 测定其燃烧前后烧失量^[19].

1.2.6 土壤机械组成的测定 2009 年 2 月在热带雨林生态定位站和植物园内橡胶林代表群落内分别随机选取 9 个土壤采集点, 用铝盒采集土壤样品带回实验室烘干处理, 采用吸管法进行土壤机械组成的测定^[20].

1.3 数据处理 土壤斥水性等级分级标准采用 King 的分法: 无斥水性(WDPT < 1 s), 极轻微斥水性(1 s < WDPT < 10 s), 轻微斥水性(10 s < WDPT < 60 s)^[21]. 将土壤潜在和实际斥水性数据按不同林型、温度、季节进行统计分析, 计算其平均值和标准差以及斥水性等级比例, 并进行 2 种林型下土壤斥水性 *T* 检验. 应用两变量相关分析法对土壤斥水性与土壤有机质含量、土壤体积含水量、土壤入渗率进行相关性分析. 文中实验数据的统计与分析均在 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件中进行, 所有数据图均在 SigmaPlot 10.0 绘图软件中绘制.

2 结果与分析

2.1 热带雨林和橡胶林下土壤斥水性比较

2.1.1 2 种林型下土壤斥水性 图 1 所示为热带雨林和橡胶林林下土壤斥水性不同等级比例. 雨林

和橡胶林下具有潜在斥水性的土壤分别为 56.8% 和 31.2%, 具有实际斥水性的土壤分别为 80% 和 89.6%, 具有实际斥水性土壤比例明显高于具有潜在斥水性土壤比例. 经统计分析: 土壤潜在斥水性和实际斥水性都存在显著的林型间差异($P_1 = 0.001$; $P_2 = 0.0001$), 其中雨林下土壤潜在斥水性大于胶林, 而实际斥水性则相反, 且林型间实际斥水性表现出更大差异. 相较热带雨林, 土壤斥水性在胶林下具有更高的波动性($S_1 = 1.67$, $S_2 = 3.31$), 这可能与橡胶林下土壤受人为干扰较大, 以及土壤异质性有关.

2.1.1 不同季节下土壤斥水性 对比雨林和胶林下土壤斥水性在干季、雾凉季、雨季间的差异发现: 土壤潜在斥水性在雨季和雾凉季雨林大于胶林, 差异达到极显著, 而在干热季则无显著差异. 在雨季雨林下土壤实际斥水性明显小于胶林($P = 0.01$), 在干季土壤实际斥水性无林型间差异. 2 种林型下土壤实际斥水性的变异度($S_1 = 4.05$; $S_2 = 10.83$)明显大于土壤潜在斥水性($S_1 = 3.10$; $S_2 = 4.53$). 从整体趋势上看, 雨林下土壤潜在斥水性从雨季向干季的过渡中趋于减小, 其中雨季和雾凉季无差异, 且都明显高于干热季, 而橡胶林下土壤潜在斥水性随季节的变化趋势不明显(图 2 左). 雨林下土壤实际斥水性雨季远小于干季, 橡胶林下实际斥水性则无明显季节变化(图 2 右).

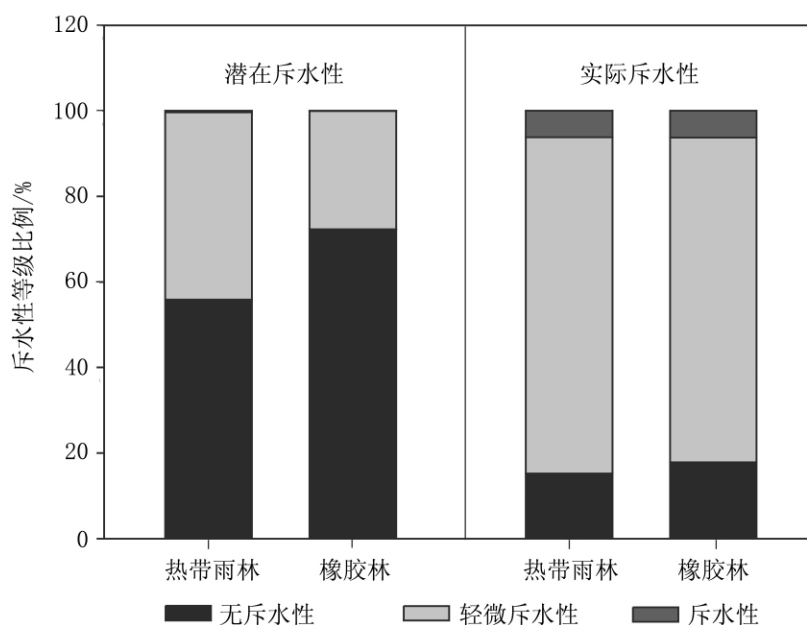
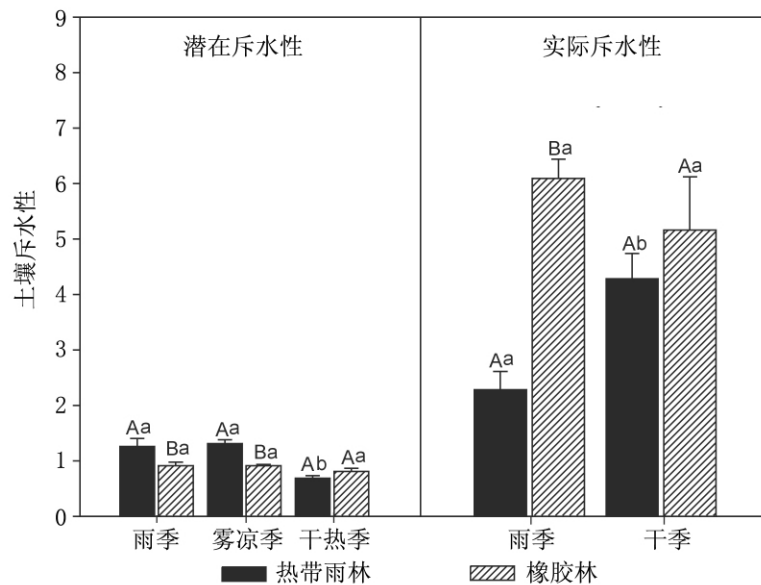


图 1 热带原始雨林和人工橡胶林林下土壤斥水性分布

Fig. 1 Distribution of water repellency classes between tropical rainforest and rubber plantation

2.1.2 不同温度下土壤斥水性 图 3 为不同温度下林型间土壤斥水性比较。T 检验结果显示: 土壤潜在斥水性在 3 种温度下都存在林型间的显著差异(图 3 左) 相反实际斥水性则无明显差异(图 3 右)。在 25 ℃ 下土壤实际斥水性明显高于潜在斥水性($P < 0.01$) 而在另种温度下其差异不明显。对 2 种林型和 3 种温度下土壤斥水性进行多重比较

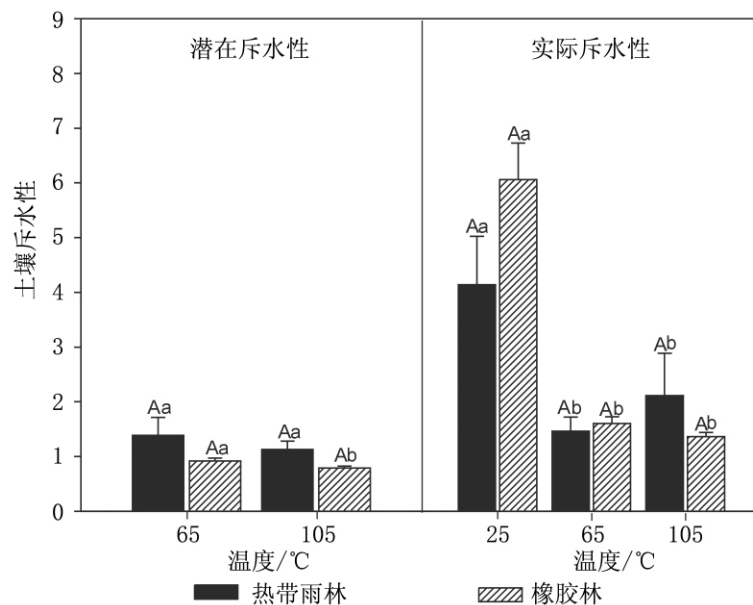
(One-way ANOVA) 发现: 在胶林和雨林下, 土壤潜在和实际斥水性都存在 25 ℃ 下土壤斥水性与 65 ℃ 和 105 ℃ 条件下土壤存在极显著差异, 而 65 ℃ 和 105 ℃ 下土壤斥水性之间无明显差异的情况。提高温度可以明显增强土壤潜在斥水能力, 却降低了土壤实际斥水性。



相同大写字母表示斥水性在相同季节不同林型间无差异 相同小写字母表示斥水性在相同林型不同季节间无差异

图 2 不同季节下土壤斥水性的变化

Fig. 2 Variation of water repellency under different seasons



相同大写字母表示斥水性在相同温度不同林型间无差异 相同小写字母表示斥水性在相同林型不同温度下无差异

图 3 不同温度下土壤斥水性变化

Fig. 3 Variation of water repellency under different temperatures

2.2 土壤有机质含量、土壤含水量、土壤质地与土壤斥水性的关系 T 检验得: 热带雨林下土壤有机质含量明显高于人工橡胶林, 且橡胶林下土壤有机质含量分布具有更大的波动性(表 1), 这可能与橡胶林下土壤周期性施肥有关. 土壤含水量在两林型间无明显差别($P=0.72$) 但具有明显的季节变化, 其中土壤含水量极高值出现在 8 月份, 极低值出现在 3 月份, 且出现雨林下土壤含水量季节间差异大于胶林的现象($S_1=11.67$, $S_2=8.82$). 实验区域橡胶林下土壤为沙质壤土且颗粒度较小, 而雨林下土壤粘度较高颗粒稍大, 产生这种差异原因可能源于橡胶林单一植被生理生态过程的影响以及人为干扰(践踏、施肥、喷药等)的作用(表 2). 图 5 是雨林和橡胶林林下土壤入渗率对照图, 其中雨林和橡胶林下土壤入渗率的变化范围分别是 $7.02 \sim 1.30$ mm/min 和 $1.30 \sim 0.0001$ mm/min, 土壤入渗率的季节变化不明显($P=0.27$), 但土壤入渗率在林型间差异极显著($P<0.01$, 表 1).

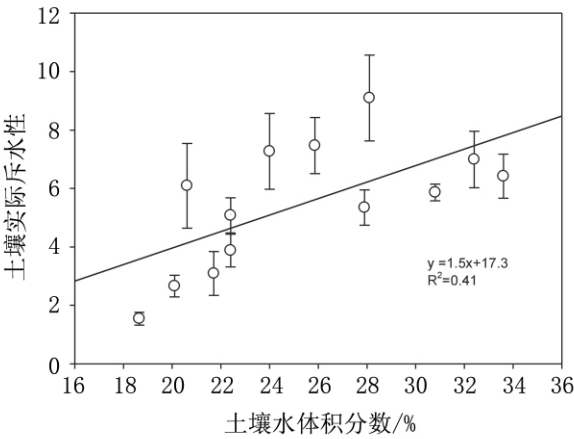


图 4 土壤斥水性与土壤含水量的关系
Fig. 4 The relationship of water repellency and soil water content

Pearson 相关性分析表明: 土壤潜在斥水性和实际斥水性与土壤有机质含量都无明显相关($R_1^2=0.006$; $R_2^2=0.003$), 而土壤实际斥水性与土壤含水量之间呈显著正相关($P=0.018$, 图 4), 与土壤入渗率之间也存在显著正相关($P<0.05$). 图 5 显示原始热带雨林林下土壤的入渗能力远高于橡胶林下土壤, 且在干季差异较大, 其中干季和雨季的差值分别为 4.13 mm/min 和 1.47 mm/min.

3 讨论

3.1 热带原始雨林和人工橡胶林林下土壤斥水性比较 土壤斥水性可分为潜在斥水性和实际斥水性. 潜在斥水性是待测土壤样品经研磨、烘干处理后土壤表现出的斥水性质, 它排除了土壤结构、土壤含水量等因子差异的影响, 反映了土壤本底的斥水特征. 实际斥水性则体现了自然环境条件下土壤与水的相互作用特征^[22]. 本实验粘壤土从 2 种林

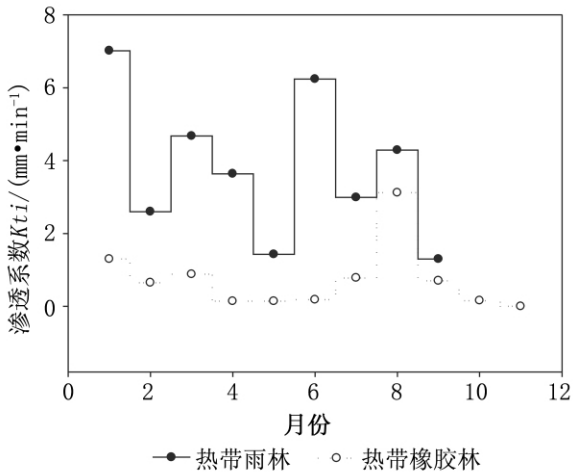


图 5 热带原始雨林和橡胶林林下土壤入渗率比较
Fig. 5 The comparison of infiltration under rubber plantation and rain forest

表 1 2 种林型下土壤斥水性影响因子比较

Tab. 1 The comparison of factors which affect water repellency between rainfall forest and rubber plantation

	热带原始雨林		人工橡胶林		P
	平均值	标准差(S_1)	平均值	标准差(S_2)	
有机物含量/($g \cdot kg^{-1}$)	55.4 [*]	7.55	42.4 [*]	9.16	0.04
土壤含水体积分数/%	23.00	8.80	23.70	11.70	0.73
土壤入渗率/($mm \cdot min^{-1}$)	3.80 ^{**}	1.98	0.81 ^{**}	0.90	0.00

* : 具有显著性差异($P<0.05$); ** : 具有极显著差异($P<0.01$)

表 2 2 种林型下土壤机械组成及其类型

Tab. 2 The component proportion of soil under rainfall forest and rubber plantation

		土壤机械组成			土壤类型
		2 ~ 0.05 mm	0.05 ~ 0.002 mm	< 0.002 mm	
热带原始林	生态定位站	57.8%	21.9%	20.3%	砂质粘壤土、砂质壤土
人工橡胶林	1 号橡胶林	39.2%	33.8%	27.0%	砂质壤土、壤土、粘壤土
	2 号橡胶林	30.5%	38.7%	30.9%	粘壤土

型下土壤中收集到 1 265 个实际和潜在斥水性数据,对比前人关于土壤斥水性研究结果发现,西双版纳地区 2 种代表群落下土壤斥水性在斥水强度和变异度方面都相对偏小^[11-23]. 其中具有极轻微潜在斥水性的土壤比例为 37%,具有极轻微实际斥水性比例 85%,轻微实际斥水性比例为 2.7%. 土壤潜在斥水性和实际斥水性的变化范围为 0.19 ~ 29 s, 0.45 ~ 66.6 s. 较小的土壤斥水性测定值推翻了关于西双版纳热带雨林下土壤强烈斥水性假设:即植被丰富的森林区域由于其输入有机质种类和数量丰富,林下土壤易于产生强烈斥水特征. 然而西双版纳热带雨林地区虽然具有纷繁复杂的植物构成,但其林下的土壤并没有产生强烈的斥水性特性,这可能与当地独特的雨林气候高温湿热的环境有关. 热带雨林下虽然外界输入有机质量多,但其分解速度快,土壤中积累的有机质并不高. 另外热带雨林植被种类组成(樟科 Lauraceae, 大戟科 Euphorbiaceae 等)也与易于产生斥水性的温带松科植被不同,也不利于土壤产生斥水性^[24]. 虽然橡胶林下土壤实际斥水性较之雨林高,但远没有达到极斥水性程度,推测造成 2 种林型下土壤斥水性不高的原因可能最终来源于土壤母质性质,但这还需要更进一步的研究证明.

对土壤潜在斥水性,雨林稍高于胶林,说明 2 种林型下土壤斥水性潜力虽有差异但差异不大,这一定程度上反映了胶林下土壤经 30 a 土地利用类型的改变对土壤性质的影响. 实际斥水性则橡胶林明显大于雨林,且相对潜在斥水性,实际斥水性表现出更大的波动性,这主要源于实际条件下土壤异质性以及林型的差异. 橡胶林下土壤受人为干扰,如割胶、施肥等活动人为践踏地表,压实了土壤,加上胶林下土壤少有土壤动物活动极易造成土壤板结而不利水的入渗. 另外土壤结构的差异也是这一现象产生的因素之一,土壤质地分析发现:热带

原始林下土壤一般为沙质粘壤土,而人工橡胶林下土壤类型大部分为壤土、粘壤土,粒径相对较小(表 2),易于土壤斥水性的产生^[25].

3.2 不同季节下热带雨林和人工橡胶林林下土壤斥水性比较 从雨季到干季,土壤潜在斥水性在雨林下趋于减小,而胶林下则无明显季节变化. 雨林下土壤潜在斥水性雨季高于干季,可能是由于雨季土壤含水量高(30.1%),有利于土壤微生物分解地表凋落物,增加了土壤斥水性物质输入,而在胶林下虽然雨季土壤含水量也较高(28.0%),但雨季无或很少有凋落物的输入,且橡胶林下土壤生物种类和数量要远少于热带雨林,因而土壤有机物的分解效率较低. 橡胶林下土壤有机质的输入主要依赖橡胶树的落叶、腐根以及人工施肥. 橡胶树一般在 3 月份集中落叶,其他时期土壤则少有有机质的输入(人工施肥除外),但 3-4 月份正值西双版纳地区干热季,落叶在地表无法分解,在随后的雨季由于高温和强降雨,植被落叶迅速降解,并受地表径流的强烈冲刷,有机质极易流失,而造成胶林下土壤潜在斥水性无明显季节变化. 其中需要说明的是实验中缺失了 5 月份的土样,而 5 月份正是雨季的开始,地表凋落物的集中分解时期,这也可能是造成橡胶林下土壤斥水性季节差异不明显的原因之一.

3.3 不同温度下热带雨林和人工橡胶林土壤斥水性比较 实验中选择 25、65、105 ℃ 3 个温度点对土壤进行烘干处理^[26-28]. *T* 检验结果显示,3 种温度条件下土壤潜在斥水性和实际斥水性均无林型间差异,说明温度变化并不是 2 林型间土壤斥水性差异的主要原因,但土样经加热处理后,胶林和雨林下土壤斥水性都出现明显降低的现象. 图 3 显示温度对斥水性的影响存在阈值,即 25 ~ 65 ℃ 间提高温度明显降低土壤斥水性,而超过 65 ℃ 后温度对土壤斥水性的影响有限. 分析这种现象产生的原

因可能源于加热导致的土壤含水量的降低, 因为常温下土壤维持较高的含水量, 而加热烘干使土壤水分蒸发造成土壤斥水性强度的降低(图4), 烘干后土壤含水量几乎为0, 也使得65℃后的土壤斥水性无明显变化. Ziogas等在希腊东北部罗德匹(Rodopi)和克桑西(Xanthi)的壤土中也发现类似现象, 唯一不同的是其土壤斥水性在105℃降幅更大^[27]. 由于温度对土壤水分的影响与林型无关, 也因此出现上述3种温度下土壤斥水性无林型间差异现象, 因此可以说温度对斥水性的影响最终来源于温度对土壤含水量的改变.

3.4 土壤有机质含量、土壤含水量、土壤入渗率、土壤质地与土壤斥水性的关系 斥水性物质的输入是土壤斥水性产生的必要条件, 这些物质包括各种有机质和脂类物质^[29]. 表1中显示, 雨林下土壤有机质含量明显高于胶林, 但Pearson相关分析知土壤斥水性与土壤有机质含量不相关($R^2 = 0.33$, $P = 0.82$), 这说明土壤有机质含量并不是造成西双版纳2种代表群落间实际斥水性差异的主导因子. 这种现象的出现必定存在其他因素的参与. 参考前述研究, 我们推测这种因素可能来自土壤质地差异. 因为在热带雨林环境下土壤受人为干扰少, 且雨林下湿热的环境利于土壤动物的活动(土壤有大量蚯蚓存在), 因此雨林下土质疏松. 相反在橡胶林下地表裸露和人为的践踏, 土壤紧实而不利于水分的渗入, 实验表明雨林下土壤入渗率是胶林下的3~4倍(图5). 因此推测西双版纳地区虽然土壤有机质为土壤斥水性的产生提供了物质基础, 但土壤质地则更大程度上影响土壤实际斥水性的强弱. 另外实验中对土壤潜在斥水性分析发现, 研磨处理后土壤斥水性迅速降低, 并出现雨林高于胶林的现象也间接印证了这种推测的合理性.

图4中土壤实际斥水性与土壤含水量呈显著正向相关, 这与前期许多研究相矛盾^[29-30], 产生这一差异的原因可能是因为西双版纳地区土壤质地对土壤斥水性的强度的影响较土壤有机质含量更加明显, 而前述研究表明土壤含水量对斥水性的影响主要是通过加速土壤有机质分解产生斥水性物质而增强土壤斥水性, 而该实验中土壤有机质含量与斥水性并无明显关系, 因此土壤含水量对土壤有机质的作用几乎可以忽略. 然而土壤含水量的增加可明显填充土壤颗粒空隙, 造成土壤内部通道系统的阻塞, 影响土壤对水分的吸收, 特别对质地紧实、

入渗能力微弱的胶林土壤. 因此在西双版纳地区降水极为丰富的雨季, 较高的土壤含水量, 增强了土壤的斥水性, 且该地区降雨大部分为阵型雨, 强度大, 这必然造成地表土壤面临更大的侵蚀风险^[15]. 而之所以雨林下土壤水土流失并不严重, 是因为雨林复杂的群落结构和良好的地表植被, 截留大部分降雨, 很大程度上削弱了地表径流的侵蚀^[31]. 但在橡胶林下, 林下土壤无植被保护, 且经常受人为活动的干扰, 因而较小的斥水性也能够给土壤造成相当大的土壤流失的影响, 因此说虽然西双版纳地区土壤整体斥水性程度不高, 但对当地大面积热带雨林被单一橡胶林代替后的土壤水土流失的贡献却不容忽视.

4 结 论

(1) 西双版纳地区2种代表群落下土壤斥水性整体表现不强, 绝大部分土壤呈微弱斥水性. 土壤潜在斥水性雨林高于橡胶林, 土壤实际斥水性橡胶林则高于雨林.

(2) 温度和季节变化明显改变土壤实际和潜在斥水性的强度. 温度对斥水性的改变不因林型的变化而变化, 且较低温度对斥水性影响较大. 季节变化对土壤潜在和实际斥水性影响不同, 其中潜在斥水性在干季、雨季无明显差异, 而实际斥水性则出现雨季大于干季的现象.

(3) 实验区域内土壤斥水性与土壤有机质含量无明显相关, 而与土壤含水量呈正向相关, 因此在雨季土壤含水量高、斥水性大、入渗率较弱的情况下, 降雨对无地表植被保护的橡胶林土壤的影响很大, 形成胶林下土壤严重流失的现象, 而对植被良好、结构复杂的热带原始林的影响较小.

致谢: 师兄王平元, 卢华正参与了部分土壤的采集工作.

参考文献:

- [1] 杨邦杰, BLACKWELL P S. 土壤斥水性引起的土地退化、调查方法与改良措施研究[J]. 环境科学, 1993, 15(4): 88-90.
- [2] CHENU C, LE BISSONNAIS Y, ARROUAYS D. Organic matter repellence on clay wettability and soil aggregate stability[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1479-1486.
- [3] ELLERBROCK R H, GERKE H H, BACHMANN J, et al. Composition of organic matter fractions for explaining

- wettability of three forest soils [J]. Soil Science Society of America Journal 2005 69: 57-66.
- [4] BLANCO - CANQUI H ,LAL R. Extent of soil water repellency under long - term no - till soils [J]. Geoderma 2009 149: 171-180.
- [5] FERREIRA A J D ,COELHO C O A ,WALSH R P D ,et al. Hydrological implications of soil water - repellency in *Eucalyptus globulus* forests ,north - central Portugal [J]. Journal of Hydrology 2000 231/232: 165-177.
- [6] SHAKESBY R A ,DOERR S H ,WALSH R P D. The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions [J]. Journal of Hydrology 2000 231/232: 178-191.
- [7] BAUTERS T W J ,STEENHUIS T S ,DICARLO D A ,et al. Physics of water repellent soils [J]. Journal of Hydrology 2000 231/232: 233-243.
- [8] WANG Z ,WU Q J ,WU C J. Effects of soil water repellency on infiltration rate and flow instability [J]. Journal of Hydrology 2000 231/232: 265-276.
- [9] JORDÁN A ,MARTÍNEZ - ZAVALA L ,BELLINFANTE N. Heterogeneity in soil hydrological response from different land cover types in southern Spain [J]. Catena , 2008 74: 137-143.
- [10] DEKKER L W ,RITSEMA C J. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils [J]. Journal of Hydrology 2000 231/232: 148-164.
- [11] ZAVALA L M ,GONZÁLEZ F A ,JORDÁN A. Intensity and persistence of water repellency in relation to vegetation types and soil parameters in mediterranean SW Spain [J]. Geoderma 2009 152: 361-374.
- [12] ROBICHAUD P R ,HUNGERFORD R D. Water repellency by laboratory burning of four northern rocky mountain forest soils [J]. Journal of Hydrology ,2000 , 231/232: 207-219.
- [13] WITTER J V ,JUNGERIUS P D. Modelling water erosion and the impact of water repellency [J]. Catena , 1991 18: 115-124.
- [14] 杨邦杰. 斥水土壤中的水热运动规律与数值模型 [J]. 土壤学报 ,1996 33(4): 351-359.
- [15] 张一平 ,张克映 ,马友鑫 ,等. 西双版纳热带地区不同植被覆盖地域径流特征 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报 ,1997 3(4): 25-30.
- [16] LI H M ,AIDE T ,MA Y X ,et al. Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China [J]. Biodiversity and Conservation 2007 16: 1731-1745.
- [17] LETEY J ,CARRILLO K L K ,PANG X P. Approaches to characterize the degree of water repellency [J]. Journal of Hydrology 2000 231/232: 61-65.
- [18] 张万儒 ,许本彤. 森林土壤定位研究方法 [M]. 北京: 中国林业出版社 ,1986.
- [19] TÄUMER K ,STOFFREGEN H. Determination of repellency distribution using soil organic matter and water content [J]. Geoderma 2005 125(1/2): 107-115.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社 ,1978.
- [21] KING P M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement [J]. Australian Journal of Soil Research ,1981 19: 275-285.
- [22] DEKKER LW ,RITSEMA C J. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils [J]. Journal of Hydrology 2000 231/232: 148-164.
- [23] GOLLER R ,WILCKE W ,LENG M J. et al. Tracing water paths through small catchments under a tropical montane rain forest in south Ecuador by an oxygen isotope approach [J]. Journal of hydrology 2005 308: 67-80.
- [24] MARTÍNEZ - ZAVALA L ,JORDAN - LOPEZ A. Influence of different plant species on water repellency in mediterranean heathland soils [J]. Catena ,2009 76: 215-223.
- [25] RODRÍGUEZ - ALLERES M ,DE BLAS E ,BENITO E. Estimation of soil water repellency of different particle size fractions in relation with carbon content by different methods [J]. Science of Total Environment , 2007 378: 147-150.
- [26] TÄUMER K ,STOFFREGEN H. Determination of repellency distribution using soil organic matter and water content [J]. Geoderma 2005 125(1/2): 107-115.
- [27] ZIOGAS A K ,DEKKER L W ,OOSTINDIE K ,et al. Soil water repellency in north - eastern Greece with adverse effects of drying on the persistence [J]. Australian Journal of Soil Research 2005 43: 281-289.
- [28] FRANCO C M M ,MICHELSEN P P ,OADES J M. A-melioration of water repellency: application of slow - release fertilizers to stimulate microbial breakdown of waxes [J]. Journal of Hydrology 2000 231/232: 342-351.
- [29] BUCZKO U ,BENS O ,HÜTTL R F. Changes in soil water repellency in a pine - beech forest transformation chronosequence: Influence of antecedent rainfall and air temperatures [J]. Ecological Engineering ,2007 31: 154-164.

(下转第 404 页)

well protected area covered with evergreen broadleaved forest was selected as the study region and 6 1 – ha plots were inventoried. Quantative attribute of hollows was investigated in each wood. Meanwhile the hollow density distribution among species ,diameter class and height class were investigated. The results show that: ① the tree cavity density was higher in our studied forest when compared with other forests(184/ha) ; ② there was significant difference of cavity density among different species; ③ the mean cavities was increasing with the diameter at breast height and tree height; ④ tree cavity density was different among stands at different succession stage.

Key words: hollow density; tree species; diameter; tree height

* * * * *

(上接第 398 页)

[30] DOERR S H ,THOMAS A D. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal [J]. Journal of Hydrology ,2000 ,231/232: 134-147.

[31] 张一平 ,刘文杰 ,王馨 ,等. 西双版纳地区热带季节雨林与橡胶林林冠水文效应比较研究 [J]. 生态学报 , 2003 ,23(12) : 2 653-2 655.

Comparison of water repellency in the tropical rainforest and rubber plantation in Xishuangbanna ,SW China

LI Jin-tao^{1 2} , LIU Wen-jie¹ , LU Hong-jian^{1 2}

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden ,Chinese Academy of Science ,Kunming 650223 ,China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Science ,Beijing 100039 ,China)

Abstract: Eighty – two soil samples were collected during August 2008 and April 2009 for water repellency analysis from tropical rainforest and rubber plantation in Xishuangbanna ,Southwest China. The influence of vegetation ,temperature and season on soil repellency and the relationship between repellency and environment factors were studied in this paper. The results show that most of the soil in two types of vegetation show very weak repellency and the actual repellency in rubber plantation is higher than that in the rainforest. In contrast ,the potential repellency is lower in rubber plantation. The effect of temperature change on the two kinds of forest was equivalent. And the repellency will change easily under the lower temperature. In dry season ,no significant differences were observed about the repellency of the two type 's forest. While in rainy season ,the repellency of rubber plantation soil was significantly higher than that of the rubber plantation soil. Water repellency was positively correlated with the soil water content ($R^2 = 0.33$) but not with soil organic matter content ($R^2 = 0.64$) . And the soil texture had a great effect on the water repellency. So it concluded that the key factors which determined the soil water repellency in Xishuangbanna were soil water content and soil texture. And vegetation change was the main factor which lead to large scale water lost and soil erosion. So in order to solve this problem we should try our best to do by controlling the soil water content and ameliorating the soil texture.

Key words: water repellency; soil water content; soil organic matter content; soil texture; water lost and soil erosion; Xishuangbanna